

Andrzej OBRANIAK, Tadeusz GLUBA

e-mail: obraniak@wipos.p.lodz.pl

Katedra Aparatury Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Wpływ parametrów strugi nawilżającej na kinetykę procesu bębnowej granulacji nawozu wieloskładnikowego

Wstęp

W czasie ruchu przesywowego nawilżanego wsadu drobnoziarnistego występują wzajemne oddziaływania ziaren ciała stałego, kropeł cieczy, a także powietrza. Wielkość i rodzaj sił działających między poszczególnymi ziarnami materiału lub pewnymi ich zbiorami są ściśle zależne od właściwości poszczególnych mediów, ich wzajemnej relacji ilościowej i powinowactwa, a w szczególności od składu ziarnowego surowca wyjściowego, kształtu jego ziaren a także stopnia rozpylenia cieczy zwilżającej [1]. Dotychczasowe badania [2, 3] wykazały, że właściwości produktu otrzymanego w procesie mokrej granulacji są ściśle zależne od stopnia nawilżenia granulowanego złoża, które może być opisane za pomocą stopnia saturacji określającego zawartość cieczy zwilżającej w przestrzeniach międzyziarnowych surowca. Stwierdzono, że w zakresie wilgotności, przy którym granulacja danego surowca przebiega właściwie, wzrost wilgotności wsadu /stopnia saturacji/ prowadzi do powstania produktu o większych wymiarach cząstek, a zarazem bardziej wytrzymałych mechanicznie. Bardzo istotne znaczenie dla przebiegu procesu granulacji mogą mieć również warunki dostarczania cieczy zwilżającej do przesypanych się złoża. W etapie nawilżania następuje formowanie się zarodków granul, a następnie ich wzrost poprzez przyłączanie kolejnych ziaren surowca, a także poprzez łączenie innych zarodków. Warunki dostarczenia cieczy zwilżającej mogą zatem w istotny sposób wpływać na przebieg nukleacji w złożu, a w konsekwencji decydować o właściwościach granulatu. Ważny tu może być zarówno czas podawania cieczy zwilżającej jak i stopień rozbitcia strugi cieczy (wielkość kropeł).

Cel pracy

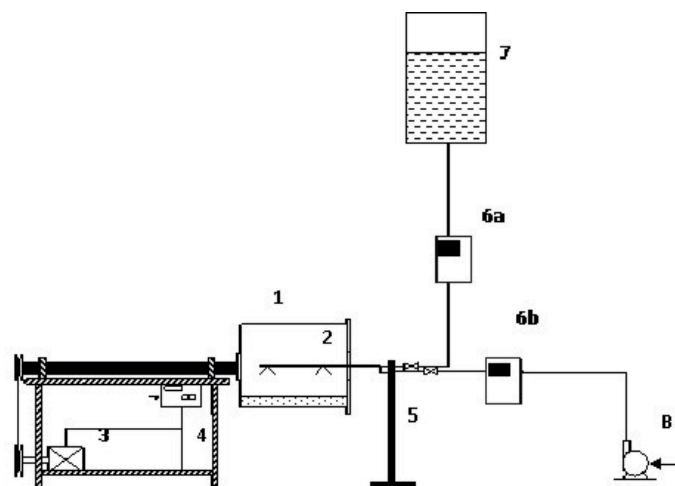
Celem pracy była ocena wpływu parametrów strugi nawilżającej złoża drobnoziarniste na skład granulometryczny uzyskiwanego produktu. Dokonano również próby ustalenia optymalnych ze względu na uzyskanie skład ziarnowy warunków prowadzenia procesu.

Aparatura doświadczalna

Badania prowadzono w laboratoryjnym granulatorze bębnowym o działaniu okresowym. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1.

Badania realizowano w bębnie – 1 (o średnicy $D = 0,5$ m i długości $L = 0,4$ m) z przegrodami wzdłużnymi, zamykanym od czoła pokrywą z centralnym otworem. Bęben napędzany za pomocą silnika elektrycznego – 3 za pośrednictwem przekładni pasowej i sprzęgła. Do ustalenia prędkości obrotowej ($n = 15$ obr/min), zastosowano falownik – 4. Znajdujący się w bębnie wsad materiału ziarnistego nawilżano zamiennie za pomocą dwóch zestawów nawilżaczy – 2 (zraszacza kropłowego lub dwóch dysz pneumatycznych), wprowadzonych osiowo przez otwór w pokrywie do wnętrza aparatu. Układy nawilżające zamocowano na niezależnym od granulatora statywie – 5. Za pomocą mierników – 6a i – 6b ustalano natężenie przepływu wody, oraz natężenie przepływu powietrza (dla dyszy pneumatycznej). Ciecz zwilżającą (wodę destylowaną) o każdorazowo ustalonej objętości podawano ze zbiornika – 7, umieszczonego na wysokości 2,5 m od osi bębna, a powietrze za pomocą sprężarki – 8. Przez cały czas utrzymywano stały poziom wody w zbiorniku – 9, co zapewniało stałe ciśnienie dostarczanej cieczy.

Rozkład wielkości kropeł w rozbitym strumieniu przy określonych parametrach pracy dysz, charakteryzowanych stopniem rozbitcia



Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego

$q = Q_w/Q_p$, mierzono za pomocą laserowego analizatora DANTEC. Na podstawie tych rozkładów obliczono średnie wymiary kropeł d_k uzyskane przy danych parametrach pracy dyszy. Parametry pracy dysz stosowane w czasie badań oraz średni rozmiar kropeł zestawiono w tab. 1. Granulacji poddano nawóz NPK (Ca,S) 4-12-12 *Lubofoska* [4].

Tab. 1. Parametry pracy dysz

Q_w [m ³ /h]	Q_p [m ³ /h]	q [-]	d_k [μm]
0,012	1	0,0120	235,70
0,012	1,5	0,0080	211,90
0,012	2,5	0,0048	154,16

Metodyka badań

W początkowym etapie na przesypany się w bębnie materiał podawano określoną masę cieczy, a następnie prowadzono proces granulacji bez nawilżania. Nawilżanie złoża prowadzono trzema sposobami: dyszami pneumatycznymi, zraszaczem kropłowym, strugą za pomocą dysz, ($Q_p = 0$). Aby wygenerować krople o różnym składzie rozmiarowym zmieniano natężenie przepływu powietrza przez dysze rozpyłowe Q_p przy ustalonej wartości natężenia przepływu cieczy Q_w . Badania prowadzono dla trzech stopni wypełnienia bębna: $\phi = 10\%$, 15% , 20% oraz wilgotności złoża z zakresu $w = 0,1-0,233$ [kg wody/kg s.m].

Próbki do analizy składu ziarnowego pobierano każdorazowo bezpośrednio po etapie nawilżania a następnie w stałych odstępach czasu w trakcie trwania etapu granulacji bez nawilżania.

Wyniki badań

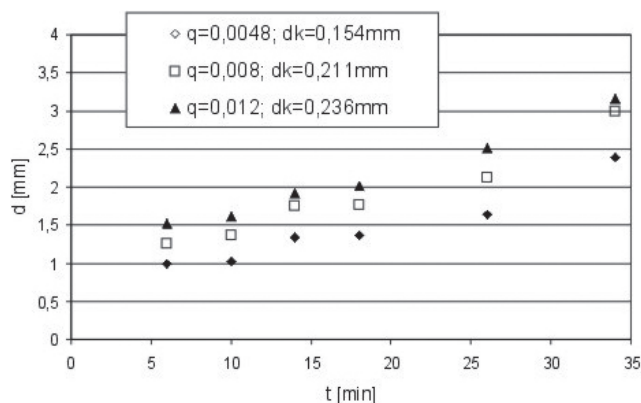
W pracy dokonano oceny wpływu stopnia rozbitcia strugi cieczy zwilżającej na przebieg procesu aglomeracji i właściwości otrzymanego produktu. Na rys. 2 przedstawiono przykładowo zmianę średniego rozmiaru granul d w czasie granulacji dla trzech wartości parametru rozbitcia strugi $q = Q_w/Q_p$ podawanej za pomocą dysz pneumatycznych, przy ustalonej wilgotności wsadu $w = 0,175$.

Z wykresu tego wynika, że istnieje wyraźny wpływ wielkości kropli cieczy wiążącej na szybkość wzrostu średniego rozmiaru cząstek granulowanego złoża. Zwiększenie rozmiarów kropli cieczy wiążącej (zwiększenie parametru q) powoduje znaczny wzrost szybkości przyrostu rozmiarów granул.

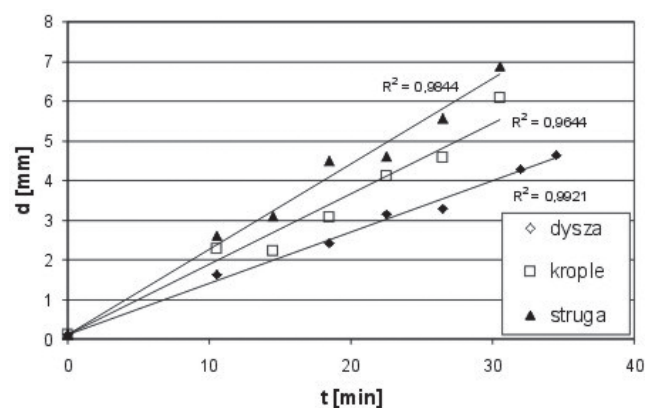
Stwierdzono, że dla przypadku nawilżania dyszami istnieje dla danej wilgotności złoża pewna graniczne rozbić strugi, czyli pewna minimalna średnia wielkość kropli d_k , poniżej której granulacja praktycznie nie zachodzi. Bezpośrednią przyczyną takiej zależności musi być jednoznaczny związek pomiędzy wielkością kropli i wymiarem cząstek ciała stałego. Kropla cieczy powinna być na tyle duża, by skutecznie zwilżyć ziarno surowca, co determinuje powstawanie mikrozarodków, oraz ich podatność na dalszą aglomerację.

Warunkiem dalszej aglomeracji jest bowiem zderzenie się dwóch (lub więcej) mikrozarodków z wystarczającą energią, która zależy od ich masy. Im krople dostarczonej cieczy są mniejsze, tym mniejsze są rozmiary mikrozarodków, a więc prawdopodobieństwo skutecznego ich spotkania się, zakończonego koalescencją jest nieduże. Reasumując, im większe są krople cieczy wiążącej tym mikrozarodki będą większe, a szansa na utworzenie aglomeratu w wyniku ich zderzenia również będzie większa, co wpływa bezpośrednio na rozmiar cząstek powstałego granulatu. Potwierdzają to zależności przedstawione na rys. 3., na którym zilustrowano wzrost średniego rozmiaru granул dla trzech sposobów nawilżania: strugą, strugą rozbitą za pomocą dyszy pneumatycznej, oraz przez podanie cieczy kroplowo (grawitacyjnie).

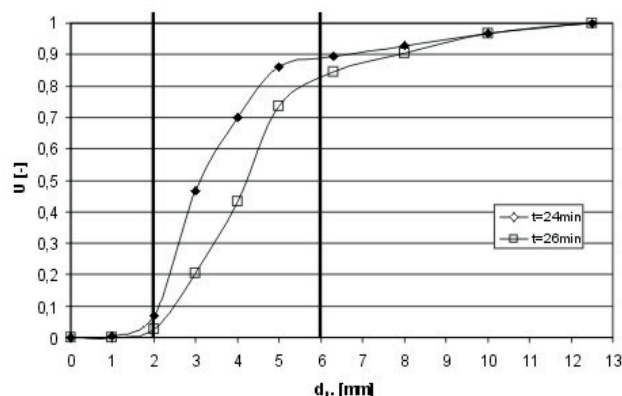
Na wykresie porównano wpływ różnych sposobów nawilżania złoża na kinetykę wzrostu aglomeratów. Zauważono, że proces przebiegał najszybciej, gdy ciecz podawano nierozbitą strugą ($Q_p = 0$), wolniej, gdy użyto nawilżacza kroplowego (krople o rozmiarach ok. 3 mm), zaś najwolniej, gdy stosowano nawilżanie dyszą pneumatyczną. Tłumaczyć to należy wielkością lokalnego obszaru przewilżenia złoża, które ma wpływ na powstawanie zarodków, inicjowanie aglomeracji oraz tworzenie układów materiału sypkiego z cieczą wiążącą, które sprzyjają trwałości powstającego agregatu (kapilarnych, kroplowych) [5, 6].



Rys. 2. Wpływ czasu granulacji na wartość średniego rozmiaru produktu dla różnego stopnia rozbić strugi ($Q_w/Q_p = 0,175$, $\varphi = 10\%$)



Rys. 3. Wpływ czasu granulacji na wartość średniego wymiaru produktu dla różnych metod nawilżania surowca ($w = 0,175$, $Q_p = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $\varphi = 15\%$)



Rys. 4. Porównanie składów ziarnowych granulowanego produktu

Na podstawie analizy wyników uzyskanych dla wszystkich przeprowadzonych prób granulacji wybrano parametry, przy których otrzymany produkt posiadał skład ziarnowy najbardziej zbliżony do przyjętych norm jakościowych (największy udział granул z zakresu 2–6 mm). Produkt taki uzyskano przy następujących parametrach procesowych: nawilżanie dyszami rozpyłowymi przy natężeniu przepływu powietrza wynoszącym $Q_p = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (stopień rozbić $q = 0,008$), wypełnieniu bębna surowcem $\varphi = 10\%$ i wilgotności $w = 0,162$. Łączny czas granulacji przy wytwarzaniu takiego produktu zawierał się w zakresie 24 do 26 min. Przy w/w parametrach otrzymano produkt, który w 75–85% posiadał cząstki o pożądanym rozmiarach od 2 do 6 mm. Porównanie składów ziarnowych produktów (masowych udziałów sumarycznych U) wytworzonych przy optymalnych parametrach przedstawiono na rys. 4.

Wnioski

1. Poprzez odpowiedni dobór parametrów można tak zoptymalizować proces granulacji, aby uzyskać produkt o pożądanym składzie ziarnowym, w którym 75–85% stanowiłyby frakcje o rozmiarach z przedziału 2–6 mm).
2. Szybkość przyrostu średniego wymiaru granул w czasie granulacji rośnie ze wzrostem rozmiarów kropli cieczy wiążącej.
3. Zmiany średniego rozmiaru cząstek granulatu w trakcie granulacji można z dużą dokładnością przybliżyć funkcją liniową
4. Stopień rozpadu strugi cieczy nawilżającej, który determinuje wielkość kropli cieczy ma istotny wpływ na przebieg procesu granulacji i w konsekwencji na własności produktu. Zbyt duży rozpad strugi powoduje powstawanie małych kropli cieczy zwilżającej, co nie inicjuje powstawania zarodków granulacji i w konsekwencji spowalnia, bądź hamuje proces. Nawilżanie nawilżaczem kroplowym, bądź strugą z dyszy, ($Q_p = 0$) przyspiesza proces, ale cząstki uzyskanego granulatu mają zbyt duże rozmiary. Związane jest to z wielkością kropli podawanych z nawilżacza kroplowego (ok. 3 mm) lub ze zbyt dużym lokalnym przewilżeniem złoża, które inicjowało powstawanie zarodków o dużych rozmiarach.
5. Powyższe wnioski potwierdziły się dla eksperymentów realizowanych przy różnych wilgotnościach złoża i różnych stopniach wypełnienia bębna materiałem ziarnistym.

LITERATURA

- [1] G.A. Aksielrud, M.A. Altszuler: Ruch masy w ciałach porowatych, WNT Warszawa, 1987.
- [2] A. Heim, T. Gluba: The 2nd Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Jerusalem 1997.
- [3] P.B. Linkson, J.R. Glastonbury, G.J. Duffy: Trans. Inst. Chem. Eng., **51**, (1973).
- [4] LUBOFOSKA 5-10-15, Zakł. Chem. LUVENA, 2010: <http://www.luvena.pl/page.php/1/0/show/387/>
- [5] K. Sastry, D.W. Fuerstenau: Powder Technol. 7, 97 (1973).
- [6] D.M. Newitt, J.M. Conway-Jones: Trans. Inst. Chem. Eng., **36** (1958).

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Nr N N209 096135.